doi:10.13866/j.azr.2018.05.18

新疆准东荒漠区 5 种典型植物水分来源①

彭丽萍[1,2]， 戴 岳[1,2]， 师庆东[1,2,3]
（1. 新疆大学资源与环境科学学院,新疆 乌鲁木齐 830046；2. 新疆绿洲生态重点实验室,新疆 乌鲁木齐 830046；3. 新疆大学干旱生态环境研究所,新疆 乌鲁木齐 830046）

摘 要: 水是植物的主要限制性因子之一,不同生活型植物水分来源不同。运用稳定同位素示踪技术,对准东荒漠区 5 种典型植物梭梭(*Haloxylon ammodendron*)、白梭梭(*H. persicum*)、刺旋花(*Convolvulus tragacanthoides*)、琵琶柴(*Reaumuria soongonica*)和盐生假木贼(*Anabasil salsa*)的小枝木质部水及其潜在水源的氧稳定同位素($\delta^{18}O$)的组成进行测定,采用 IsoSource 模型分析这 5 种植物对各潜在水源的利用比例,相似性比例指数(PS 指数)定量分析不同植物间水分利用关系。结果表明:5 种植物主要利用土壤水,但其吸水层位不同,梭梭和白梭梭主要利用深层土壤水(140~200 cm),利用比例分别为 73%~87% 和 43%~74%,吸水层位于 140~160 cm;琵琶柴主要利用浅层土壤水(0~80 cm),利用比例为 49%~85%,吸水层位于 60~80 cm;盐生假木贼和刺旋花主要利用浅层土壤水(0~60 cm),利用比例分别为 80%~91% 和 24%~79%,盐生假木贼吸水层位于 20~40 cm,刺旋花吸水层位于 40~60 cm。梭梭和白梭梭、盐生假木贼和刺旋花两两存在水源竞争的现象。此研究为荒漠地区生态恢复与重建以及对植物在干旱环境下的适应性探索提供参考依据。

关键词: 荒漠植物; 土壤含水量; 相似性比例指数; 稳定同位素; 水分来源; 新疆

新疆准东地区有丰富的煤炭资源,煤矿的开采使得当地原本脆弱的生态环境更加恶化,产生了诸多环境问题[1],如矿区地表植被的破坏和水系的紊乱等[2-3],进行植被恢复是亟待解决的问题。该区地处荒漠区,生态基础薄弱[4]。在干旱－半干旱地区生态系统中,水是主要限制因子和重要推动力量[5],水分来源是干旱地区植物生命周期中的重要选择过程。了解荒漠地区植物的水分来源,对理解土壤－植被交互作用与物种共存有重要作用[5]。虽然学者对准东地区煤矿的开采及爆破研究较多[2-3],但对准东荒漠地区生态修复中植被的合理选择与恢复研究尚少,了解荒漠区水分对植物的影响,有利于了解植物组成的生态系统对荒漠地区脆弱生态环境的适应性,从而制定正确的灌溉方案,为矿区的生态修复提供参考依据。

植物主要通过活性根吸收水分,传统的根系调查法存在费时耗力,对植被及其生态环境破坏性大,有一定的误差等问题,且对于深根系植物来说,在有多个可能水分来源时,通过直接方法来确定不同水源对植物的贡献率就显得更加困难[6]。氢、氧稳定同位素示踪技术具有较高的准确性和灵敏度[7-8],为了解植物水分来源及利用比例提供了新的方法,国内外学者也进行了大量研究。Nippert 等[9]研究发现,当浅层土壤水分不足以维持植物正常生长时,植物根系由浅层吸水模式转为深层吸水模式;Ellsworth 等[10]研究发现,旱生植物的茎在输送水分的过程中,氢同位素可能会发生分馏;余绍文等[11]利用稳定同位素示踪技术,确定土壤水的氢、氧同位素值随土壤深度呈指数型变化;朱建佳等[12]研究表明,典型荒漠植物能灵活利用各种水源,但主要利用土壤水,不同植物种类水分利用方式存在差异;营晶等[13]研究发现,荒漠灌木可以通过自身的调节朝着最优的方向发展,实现最大限度的水分利用。

植物生理生态变化是长期适应生存环境的结果,不同胁迫环境下植物的水分利用策略和生存方式存在明显的差异[14]。本文针对荒漠区生态修复中水分研究存在的问题,以新疆准东地区为研究区,以区内主要的旱生植物为研究对象,运用稳定同位素技术,揭示植物的水分来源及其利用比例,为矿区植被的修复提供科学依据。

① **收稿日期:** 2017-10-18; **修订日期:** 2018-04-24
基金项目: 自治区重点研发计划项目(2017B03017-3);国家科技支撑计划项目(2014BAC15B01)资助
作者简介: 彭丽萍(1994-),女,在读研究生,研究方向环境演变与环境修复. E-mail:1571520506@qq.com
通讯作者: 师庆东. E-mail:shiqd@xju.edu.cn

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于新疆准东地区(44°30′24.49″N,90°22′10.77″E,海拔657~753 m)。该地属于大陆荒漠型气候,年温差和昼夜温差变化很大,四季分明,5—8月为夏季,高温炎热,白天气温常在40 ℃以上,绝对最高气温43.2 ℃,11月至次年2月为冬季,气候严寒,绝对最低气温为 -49.8 ℃。年平均降水量106 mm,年蒸发量1 202~2 382 mm,为降水量的12~23倍,偶有雷阵雨,冬季积雪稀少。区内植物组成简单,类型单一,分布稀疏,建群植物主要是由超旱生、旱生的半乔木、灌木、小半灌木以及旱生的一年生草本、多年生草本和短命植物等组成。采样点主要植物有梭梭(*Haloxylon ammodendron*)、白梭梭(*Haloxylon persicum*)、琵琶柴(*Reaumuria soongonica*)、盐生假木贼(*Anabasil salsa*)和刺旋花(*Convolvulus tragacanthoides*)等,其中,梭梭、白梭梭和琵琶柴主要分布于沙质土的低矮小沙丘上;盐生假木贼和刺旋花主要分布于砂砾土的平地上。

1.2 研究方法

1.2.1 样品采集

(1)植物样品 在研究区内选取健康的,正常生长的5种典型植物:白梭梭、梭梭、盐生假木贼、琵琶柴和刺旋花(表1),每种植物选取5株形态、长势特征相近的植株,剪取非绿色的栓化小枝(直径0.1~0.3 cm,长3~5 cm),去皮后迅速装入特制的玻璃瓶中并用封口膜密封,然后放入随身携带的冰盒中,带回实验室冷冻保存(低于 -20 ℃),用于测定 $\delta^{18}O$ 值。

(2)土壤样品 在收集植物样品附近,用土钻取土壤样品。由于平地土质是砂砾坚土,土质较硬,且植物是小半灌木,因此,在平地钻取0~160 cm 土层的土壤样品;低矮小沙丘土质是沙质土,且植物是小乔木,因此,在低矮小沙丘钻取0~200 cm 土层的土壤样品。每20 cm 土层取1个样,每个土样取3个重复,取样时间同植物的取样时间一致。将每层所取的土样分成2份,一份迅速装入样品瓶中,用封口膜封口后装入随身携带的冰盒中,带回实验室用于测定 $\delta^{18}O$ 值,另一份装入铝盒,带回实验室用烘干法测定土壤质量含水量。

(3)地下水样品 地下水样品取自离研究区最近的水厂。由于地下水埋深较深(约18 m),水厂通过打井直接为片区居民提供生活用水,因此,以水厂抽水泵抽出的井水作为地下水样品。

1.2.2 样品的测定 植物和土壤样品中的水分在中国科学院阜康荒漠生态系统国家野外科学观测研究站采用低温真空蒸馏抽提法抽取,将抽提出的植物小枝木质部水(简称木质部水)和土壤水分别装入玻璃样品瓶中,采用稳定同位素红外光谱技术的液态水同位素分析仪(LWIA, DLT-100, Los Gatos Research, Mountain View, USA)测量样品的氧稳定同位素比率。由于本研究所选植物是干旱区常见的旱生植物且梭梭、琵琶柴、盐生假木贼还是典型的盐生植物,而旱生植物和盐生植物的根系在吸收水分的过程中会发生氢同位素分馏[10],因此,采用稳定氧同位素进行分析。氧同位素比率(δ)的计算公式如下:

$$\delta X=\left(\frac{R_{sample}}{R_{standard}}-1\right)\times 1\,000\% \qquad (1)$$

式中:X 代表氧元素中的重同位素;R_{sample} 代表样品中氧元素重轻同位素丰度之比 $R_{standard}$ 代表国际通用标准物中氧元素的重轻同位素丰度之比。

由于利用低温真空蒸馏抽提技术获得的茎秆水中含有甲醇和乙醇类有机污染物,易造成 ^{18}O 的同位素测量值超过仪器精度,使其与实际值有一定的偏差。为了减小测量误差,结合 Los Gatos 公司的光谱分析软件确定甲醇(NB)和乙醇(BB)类物质污

表1 5种典型植物的形态特征

Tab.1 Morphological characteristics of five typical plant species in the study area

植物	株高/cm	冠幅/cm×cm	基径/cm	生境	生活型
白梭梭 *Haloxylon persicum*	210.0±12.24	242.6×298.6	9.1±2.9	低矮小沙丘	旱生小乔木
梭梭 *Haloxylon ammodendron*	129.0±14.98	182.5×176.5	6.0±4.7	低矮小沙丘	旱生小乔木
琵琶柴 *Reaumuria soongonica*	28.3±2.40	72.5×60.0	-	低矮小沙丘	超旱生小半灌木
盐生假木贼 *Anabasil salsa*	16.4±1.03	30.0×23.6	-	平地	超旱生小半灌木
刺旋花 *Convolvulus tragacanthoides*	13.8±1.59	29.0×22.8	-	平地	强旱生小半灌木

注:数值为平均值±标准误,$n=5$。

染程度的光谱度量值,建立了 $\delta^{18}O$ 的光谱污染校正方法[15],以便得到较准确的氧同位素值。

1.2.3 水源划分 根据 IsoSource 模型[16],确定5种植物对不同水源的相对利用比例。为了方便 IsoSource 模型的准确运行,根据土壤水氧稳定同位素值变化,对低矮小沙丘和平地上生长植物的潜在水源各划分为4个水源,平地划分的水源分别为浅层土壤水:0~60 cm(同位素值呈波动变化),中层土壤水:60~100 cm(同位素值随深度的增加逐渐减小),深层土壤水:100~160 cm(各土层间同位素值差异不显著,$P>0.05$)及地下水;将低矮小沙丘的水源同理划分为浅层土壤水:0~80 cm(同位素值呈波动变化),中层土壤水:80~140 cm(同位素值随深度的增加逐渐减小),深层土壤水:140~200 cm(各土层间同位素值差异不显著,$P>0.05$)及地下水。由于采样期间未发生降水事件,而降水转化为土壤水才能供植物利用,且研究区发生降水事件较少,因此本文不考虑降水的影响。

模型运行时,资源增量参数设定为1%,表示以1%的增量赋值植物对各水源的利用比例,用以检测可能的比例组合;质量平衡公差设定为0.1‰,表示各水源同位素值被利用比例加权值之和与植物木质部水同位素值的差异不超过0.1‰时,比例组合被认为是可能的组合[17]。

1.2.4 相似性比例指数(PS 指数) 相似性比例指数是表征生物之间生态位重叠的指标[18-19],PS 指数越大,表明2个物种生态位重叠的越多,对某一资源的竞争越大;PS 指数越小,表明2个物种间生态位重叠不明显,对某一资源的竞争越小[20]。本研究利用 PS 指数评估物种间对水资源的竞争现象。

$$PS = 1 - 0.5\sum_{i=1}^{n}|p_{1i} - p_{2i}| \quad (2)$$

式中:PS 表示相似性比例指数;p_{1i} 和 p_{2i} 分别表示相比较的任意2个物种对第 i 种水源的利用比例。

1.2.5 数据处理 本文运用 SPSS 19.0 对数据进行分析,使用单因素方差分析(one-way ANOVA)比较不同土壤剖面间土壤质量含水量之间的差异显著性及5种植物木质部水和土壤水 $\delta^{18}O$ 值间的差异显著性,运用 IsoSource 模型分析潜在水源对植物的贡献比例,采用 PS 指数分析不同物种间对水资源的竞争性,运用 Origin 8.0 进行图形绘制。

气象数据从天气查询网站(网址:www.tianqi.911cha.com)获取当地2016年5月的气温及降水数据。

2 结果与分析

2.1 气象观测结果

在采样期间(2016年5月13—16日),没有发生降水(图1)。5月总降水量为37.4 mm,共发生了1次较大的降水(降水量>10 mm);日平均气温呈波动性变化,平均日气温最高达到26 ℃,最低为12.5 ℃。

2.2 土壤质量含水量的变化

研究区土壤质量含水量总体较低(图2)。土壤质量含水量随土层深度的变化,平地和低矮小沙丘表现出不同的变化趋势。在平地,土壤质量含水量随土层深度的增加而增加,在表层含水量最小,为6.31%±1.21%;在160 cm 时达到最大,为14.82%±0.12%。在低矮小沙丘,土壤质量含水量相对于平地明显偏低($P<0.05$),在表层含水量达到最大值,为3.84%±0.43%,在120 cm处出现一个小峰

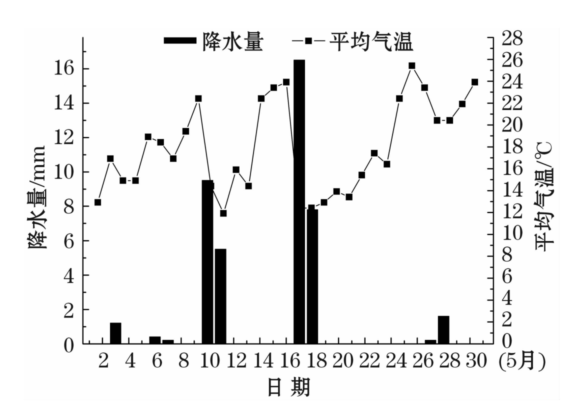


图1 2016年5月研究区的降水、气温变化

Fig. 1 Variation of precipitation and air temperature in the study area in May 2016

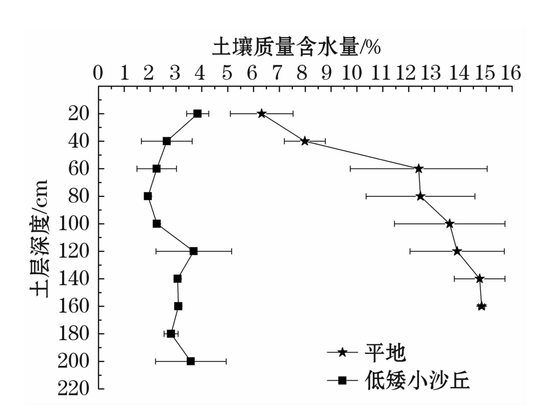


图2 低矮小沙丘和平地的土壤质量含水量随土层深度的变化(平均值±标准误,$n=3$)

Fig. 2 Vertical profiles of mass soil moisture content of at low dune and flat ground (mean ± SE, n = 3)

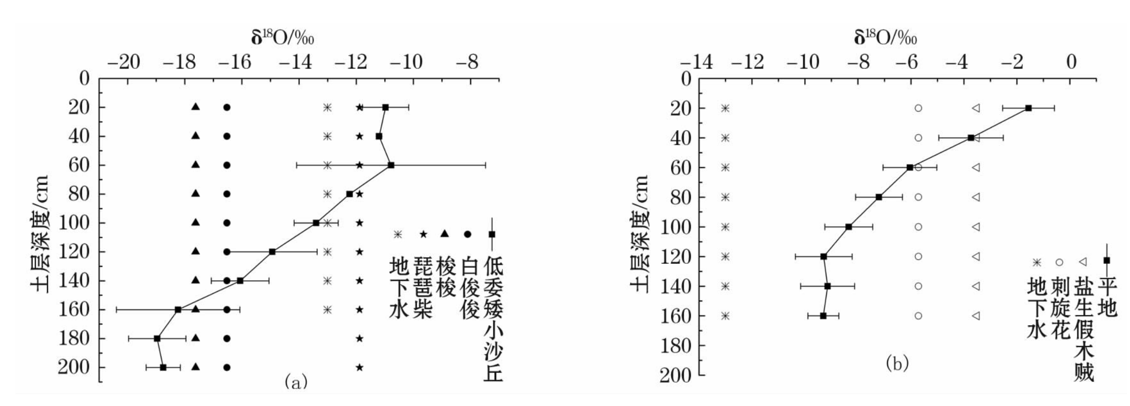


图 3　低矮小沙丘(a)和平地上(b)不同植物木质部水、土壤水和地下水的 $\delta^{18}O$ 值比较

Fig. 3　Compared results of $\delta^{18}O$ values of xylem water, soil water and groundwater at low dune(a) and flat ground (b)

值,含水量达到 3.69% ±1.46%,在 80 cm 处含水量最低,为 1.92% ±0.05%,随土层深度的增加,低矮小沙丘土壤质量含水量变化不大($P>0.05$)。

2.3　5 种典型荒漠植物的吸水层位

低矮小沙丘土壤水的 $\delta^{18}O$ 值变化范围为 −9.97‰～−18.97‰,且整体表现出随土层深度的加深,而随之减小的变化趋势,在表层表现出重同位素富集的现象(图 3a)。梭梭、白梭梭和琵琶柴木质部水的 $\delta^{18}O$ 值变化范围为 −11.88‰～−17.62‰,梭梭和白梭梭木质部水的 $\delta^{18}O$ 值较琵琶柴明显偏负($P<0.05$)。梭梭、白梭梭木质部水的 $\delta^{18}O$ 值分别为 −17.62‰ ±0.56‰, −16.53‰ ±0.85‰,与 140～160 cm 土层土壤水的 $\delta^{18}O$ 值接近($P>0.05$),推断其主要吸水层位是 140～160 cm 土层的土壤水,按本研究所划分的水源类型属于深层土壤水。琵琶柴木质部水的 $\delta^{18}O$ 值为 −11.89‰ ±3.72‰,与 60～80 cm 土层土壤水的 $\delta^{18}O$ 值相近($P>0.05$),推断其主要吸水层位是 60～80 cm 土层的土壤水,按本研究所划分的水源类型属于浅层土壤水。

平地土壤水的 $\delta^{18}O$ 值变化范围为 −1.56‰～−9.31‰,且整体表现出随土层深度的加深,而随之减小的变化趋势,在表层表现出重同位素富集现象(图 3b)。盐生假木贼木质部水的 $\delta^{18}O$ 值为 −2.52‰ ±1.02‰,与 20～40 cm 土层土壤水的 $\delta^{18}O$ 值相近($P>0.05$),推断其主要吸水层位是 20～40 cm 土层的土壤水,按本研究所划分水源类型属于浅层土壤水。刺旋花木质部水的 $\delta^{18}O$ 值为 −5.72‰ ±1.44‰,与40～60 cm 土层土壤水的$\delta^{18}O$ 值接近($P>0.05$),推断其主要吸水层位是 40～60 cm 土层的土壤水,按本研究所划分水源类型属于浅层土壤水。

2.4　5 种典型荒漠植物对潜在水源的利用比例

通过 IsoSource 模型分析不同生境下的 5 种典型荒漠植物对潜在水源的利用比例(表 2)。生境为低矮小沙丘的梭梭、白梭梭和琵琶柴对土壤水的利用比例最大。梭梭主要利用深层土壤水,利用比例为 73% ～87%;白梭梭主要利用深层土壤水,利用比例为 43% ～74%;琵琶柴主要利用浅层土壤水,利用比例为 49% ～85%。

生境为平地的盐生假木贼和刺旋花也对土壤水的利用比例最大(表 3)。盐生假木贼主要利用浅层土壤水,利用比例为 80% ～91%;刺旋花主要利用浅层土壤水,利用比例为 24% ～79%。

2.5　5 种典型荒漠植物水分利用关系

根据表 2 和表 3 得出,5 种典型荒漠植物均主要利用土壤水,因此本文分析了其对土壤水的竞争关系(表 4)。梭梭、白梭梭与琵琶柴处于同一生境,梭梭与白梭梭的PS指数为0.71～0.85,说明梭梭

表 2　生境为低矮小沙丘的 3 种优势植物对潜在水源的利用比例

Tab. 2　Proportions of feasible water sources for three dominant plant species at low dune

水分来源	各潜在水源的利用比例/%		
	梭梭 *H. ammodendron*	白梭梭 *H. persicum*	琵琶柴 *R. soongonica*
浅层土壤 (0～80 cm)	4.2(0～13)	8.7(0～27)	68.5(49～85)
中层土壤水 (80～140 cm)	9(0～27)	18.5(0～57)	17.5(0～51)
深层土壤水 (140～200 cm)	80.6(73～87)	60.4(43～74)	9.3(0～27)
地下水	6.2(0～17)	12.4(0～38)	4.7(0～14)

注:数值为平均值(最小值～最大值)。

表3 生境为平地的2两种典型植物对潜在水源的利用比例

Tab. 3 Proportions of feasible water sources for two typical plant species at flat ground

水分来源	各潜在水源的利用比例/%	
	盐生假木贼 *A. salsa*	刺旋花 *C. tragacanthoides*
浅层土壤水(0~60 cm)	86.3(80~91)	55.4(24~79)
中层土壤水(60~100 cm)	6.6(0~20)	26(0~76)
深层土壤水(100~160 cm)	4.4(0~12)	11.8(0~35)
地下水	2.7(0~8)	6.8(0~21)

注:数值为平均值(最小值~最大值)。

表4 5种典型植物之间相似性比例指数

Tab. 4 Proportional similarity index (PSI) among five typical plant species

植物种类	梭梭与白梭梭	梭梭与琵琶柴	白梭梭与琵琶柴	盐生假木贼和刺旋花
PS指数	0.71~0.85	0.22~0.39	0.45~0.54	0.55~0.72

与白梭梭存在较强的水分竞争关系;梭梭与琵琶柴PS指数为0.22~0.39,白梭梭与琵琶柴PS指数为0.45~0.54,说明梭梭与琵琶柴,白梭梭与琵琶柴水分竞争关系较弱;盐生假木贼和刺旋花的PS指数为0.55~0.72,说明盐生假木贼与刺旋花存在较强的水分竞争关系。

3 结论与讨论

3.1 讨论

对比分析平地与低矮小沙丘各层土壤水$\delta^{18}O$值,其值随深度的增加而减小,在表层达到最大值,这是由于该地蒸发量较大,土壤水稳定同位素易受到蒸发分馏作用的影响,表层比下层土壤水更易富集重同位素[21-22]。

植物根系的分布特点能够反映植物对土壤水分的利用状况[23]。分布在表层土壤中的根系能够吸收降水补充的土壤水,而分布在深层土壤中的根系主要吸收的是由冬春季节的降水或者地下水补充的土壤水[24]。生于固定沙地的一年生至四年生梭梭根系分布范围是0~250 cm[25-26],由于梭梭根具有趋水性,当干旱时,其向下生长以吸取深层土壤水分[25],因此主要利用深层土壤水,这与本研究的结果相符。白梭梭根据其吸水层位可得出深根系植物主要利用深层土壤水。原始盐生荒漠中的琵琶柴根系分布范围0~80 cm[26],故为浅根系植物,本研究中,琵琶柴主要利用0~60 cm的浅层土壤水(表2),与其根系分布范围相符。刺旋花及盐生假木贼根据其吸水层位推断,也为浅根系植物,主要利用浅层土壤水分。

植物对资源的竞争是一种普遍存在的现象,多数生态系统的竞争主要发生在地下根系对水分和养分的竞争[27-28]。同一生境中吸水层位相似的植物间存在对水源的竞争现象[29]。PS指数是表征植物之间生态位重叠的指标,可以用来评估植物之间的水分竞争关系[19-20]。琵琶柴、梭梭和白梭梭群落在该研究区分布在沙质土的低矮小沙丘上,梭梭和白梭梭主要利用深层土壤水,且PS指数较大,因此,梭梭和白梭梭存在水分的竞争现象。而琵琶柴主要利用浅层土壤水,且与梭梭和白梭梭的PS指数较小,水分竞争现象较弱。所以,在低矮的小沙丘上有琵琶柴和梭梭、白梭梭伴生的现象。盐生假木贼和刺旋花群落分布于土质为砂砾坚土的平地上,主要利用浅层土壤水,且PS指数较大,因此,盐生假木贼和刺旋花存在对水分利用的竞争现象,也鲜有盐生假木贼和刺旋花伴生出现。不同植物其水分利用及吸水层位不同,因此,在新疆准东戈壁荒漠区生态修复过程中,选择合适的植物种是至关重要的。

3.2 结论

准东荒漠区5种典型荒漠植物主要水分来源不同,分布在低矮小沙丘的梭梭和白梭梭主要利用深层土壤水,利用比例分别为73%~87%和43%~74%;琵琶柴主要利用浅层土壤水,利用比例为49%~85%;分布在平地的刺旋花和盐生假木贼主要利用浅层土壤水,利用比例分别为24%~79%和80%~91%。梭梭与白梭梭、盐生假木贼和刺旋花两两存在水分竞争现象。不同生境下的5种植物对潜在水源的利用比例有所不同,它们通过不同的水分利用策略,合理的利用干旱区仅有的水源,本研究为干旱荒漠区植被恢复与节水灌溉提供了参考。

参考文献(References):

[1] 岳建英,郭春燕,李晋川,等.安太堡露天煤矿复垦区野生植物定居分析[J].干旱区研究,2016,33(2):399-409.[Yue Jianying, Guo Chunyan, Li Jinchuan, et al. Colonized wild plants in the reclamation area of the Antaibao opencast coal mine[J]. Arid Zone Research, 2016, 33(2):399-409.]

[2] 张新华,谷树忠,王礼茂.新疆矿产资源开发利益格局合理性识别[J].资源科学,2015,37(10):1 992-2 000.[Zhang Xinhua, Gu Shuzhong, Wang Limao. Identification of mineral resource exploitation interests pattern rationality in Xinjiang[J]. Resource

Science,2015,37(10):1 992 - 2 000.〕

〔3〕 刘建新.新疆矿产资源开发利用中的利益补偿问题研究〔D〕.乌鲁木齐:新疆农业大学,2009.〔Liu Jianxin. Study on the Interest Compensation Problem in the Development and Utilization of Mineral Resources of Xinjiang〔D〕. Urumqi:Xinjiang Agricultural University,2009.〕

〔4〕 夏军.准东煤田土壤重金属污染高光谱遥感监测检测研究〔D〕.乌鲁木齐:新疆大学,2014.〔Xia Jun. Study on the Monitoring of Soil Heavy Metal Pollution with Hyperspectral Remote Sensing in the Eastern Junggar Coalfield〔D〕. Urumqi:Xinjiang University,2014.〕

〔5〕 Wang Jian,Fu Bojie,Lu Nan,et al. Seasonal variation in water uptake patterns of three plant species based on stable isotopes in the semi-arid Loess Plateau〔J〕. Science of the Total Environment,2017,609:27 - 37.

〔6〕 巩国丽,陈辉,段德玉.利用稳定氢氧同位素定量区分白刺水分来源的方法比较〔J〕.生态学报,2011,31(24):7 533 - 7 541.〔Gong Guoli,Chen Hui,Duan Deyu. Comparison of the methods using stable hydrogen and oxygen isotope to distinguish the water source of *Nitraria tangutorum*〔J〕. Acta Ecologica Sinica,2011,31(24):7 533 - 7 541.〕

〔7〕 徐庆,冀春雷,王海英,等.氢氧碳稳定同位素在植物水分利用策略研究中的应用〔J〕.世界林业研究,2009,22(4):41 - 46.〔Xu Qing,Ji Chunlei,Wang Haiying,et al. Use of stable isotopes of hydrogen oxygen and carbon to identify water use strategy by plants〔J〕. World Forestry Research,2009,22(4):41 - 46.〕

〔8〕 邓文平,余新晓,贾国栋,等.雨季北京山区3种典型植物的水分来源〔J〕.干旱区研究,2014,31(4):649 - 657.〔Deng Wenping,Yu Xinxiao,Jia Guodong,et al. Water sources of three typical plants in the Beijing Mountain areas in rainy season〔J〕. Arid Zone Research,2014,31(4):649 - 657.〕

〔9〕 Nippert J B,Knapp A K. Soil water partitioning contributes to species coexistence in tallgrass prairie〔J〕. Oikos,2007,116(6):1 017 - 1 029.

〔10〕 Ellsworth P Z,Williams D G. Hydrogen isotope fractionation during water uptake by woody xerophytes〔J〕. Plant and Soil,2007,291(1 - 2):93 - 107.

〔11〕 余绍文,孙自永,周爱国,等.用D、(18)O同位素确定黑河中游戈壁地区植物水分来源〔J〕.中国沙漠,2012,32(3):717 - 723.〔Yu Shaowen,Sun Ziyong,Zhou Aiguo,et al. Deternamination of water sources of Gobi plants by D and 18O stable isotopes in middle reaches of the Heihe River〔J〕. Journal of Desert Research,2012,32(3):717 - 723.〕

〔12〕 朱建佳,陈辉,邢星,等.柴达木盆地荒漠植物水分来源定量研究——以格尔木样区为例〔J〕.地理研究,2015,34(2):285 - 292.〔Zhu Jianjia,Chen Hui,Xin Xing,et al. Quantification analysis of water sources of desert plants in Qaidam Basin:A case study of Golmud plot〔J〕. Geographical Research,2015,34(2):285 - 292.〕

〔13〕 菅晶,贾德彬,郭少峰,等.2014年浑善达克沙地黄柳生长季水分来源同位素示踪研究〔J〕.干旱区研究,2017,34(2):350 - 355.〔Jian Jin,Jia Debin,Guo Shaofeng,et al. Water sources in growing season of *Salix gordejevii* in the Otindag Sandy Land traced by stable D isotope in 2014〔J〕. Arid Zone Research,2017,34(2):350 - 355.〕

〔14〕 陈亚宁,李卫红,陈亚鹏,等.荒漠河岸林建群植物的水分利用过程分析〔J〕.干旱区研究,2018,35(1):130 - 136.〔Chen Yaning,Li Weihong,Chen Yapeng,et al. Water use process of constructive plants in desert riparian forest〔J〕. Arid Zone Research,2018,35(1):130 - 136.〕

〔15〕 孟宪菁,温学发,张心昱,等.有机物对红外光谱技术测定植物叶片和茎秆水 δ^{18}O 和 δD 的影响〔J〕.中国生态农业,2012,20(10):1 359 - 1 365.〔Meng Xianjing,Wen Xuefa,Zhang Xinyu,et al. Potential impacts of organic contaminant on δ^{18}O and δD in leaf and xylem water detected by isotope ratio infrared spectroscopy〔J〕. Chinese Journal of Eco-Agriculture,2012,20(10):1 359 - 1 365.〕

〔16〕 Phillips D L,Gregg J W. Source partitioning using stable isotopes:Coping with too many sources〔J〕. Oecologia,2003,136(2):261 - 269.

〔17〕 杨国敏,王力.黑岱沟露天矿区排土场2种典型植物的水分来源及利用策略〔J〕.自然资源学报,2016,31(3):477 - 487.〔Yang Guomin,Wang Li. Water use patterns of two typical plants based on hydrogen and oxygen stable isotopes at dumping site in the opencast coal mining area of Heidaigou〔J〕. Journal of Natural Resources,2016,31(3):477 - 487.〕

〔18〕 Hoekstra N J,Finn J A,Hofer D,et al. The effect of drought and interspecific interactions on depth of water uptake in deepand shallow-rooting grassland species as determined by delta O-18natural abundance〔J〕. Biogeoscience,2014,11(16):4 493 - 4 506.

〔19〕 Trogisch S,Salmon Y,He J S,et al. Spatio-temporal water uptake patterns of tree saplings are not altered by interspecific interaction in the early stage of a subtropical forest〔J〕. Forest Ecology and Management,2016,367:52 - 61.

〔20〕 王玉阳,陈亚鹏,李卫红,等.塔里木河下游典型荒漠河岸植物水分来源〔J〕.中国沙漠,2017,37(6):1 150 - 1 157.〔Wang Yuyang,Chen Yapeng,Li Weihong,et al. Water sources of typical desert riparian plants in the lower reaches of Tarim River〔J〕. Journal of desert research,2017,37(6):1 150 - 1 157.〕

〔21〕 孙守家,孟平,张劲松,等.利用氘同位素研究太行山南麓枣树水分利用的季节性变化〔J〕.林业科学,2011,47(5):46 - 53.〔Sun Shoujia,Meng Ping,Zhang Jingsong,et al. Seasonal variation in water use of *Ziziphus jujuba* in the South aspect of Taihang Mountains with deuterium isotope signature〔J〕. Scientia Silvae Sinicae,2011,47(5):46 - 53.〕

〔22〕 Tang K,Feng X. The effect of soil hydrology on the oxygen and hydrogen isotopic compositions of plants' source water〔J〕. Earth and planetary Science Letters,2001,185(3):355 - 367.

〔23〕 郭京衡,李尝君,曾凡江,等.2种荒漠植物根系生物量分布与土壤水分、养分的关系〔J〕.干旱区研究,2016,33(1):166 - 171.〔Guo Jingheng,Li Changjun,Zeng Fanjiang,et al. Relationship between root biomass distribution and soil moisture,nutrient for two desert plant species〔J〕. Arid Zone Research,2016,33(1):166 - 171.〕

〔24〕 Chimner R A,Cooper D J. Using stable oxygen isotopes to quantify the water source used for transpiration by native shrubs in the San Luis Valley,Colorado U. S. A〔J〕. Plant and Soil,2004,260(1 - 2):225 - 236.

〔25〕 盛晋华,乔永祥,刘宏义,等.梭梭根系的研究〔J〕.草地学报,2004,12(2):91 - 94.〔Sheng Jinhua,Qiao Yongxiang,Liu Hongyi,et al. A study on the root system of *Haloxy ammodendron* bunge〔J〕. Acta Agrestia Sinice,2004,12(2):91 - 94.〕

〔26〕徐贵青,李彦.共生条件下三种荒漠灌木的根系分布特征及其对降水的响应〔J〕.生态学报,2009,29(1):130－137.〔Xu Guiqing,Li Yan. Roots distribution of three desert shrubs and their response to precipitation under co-occurring conditions〔J〕. Acta Ecologica Sinica,2009,29(1):130－137.〕

〔27〕王政权,张彦东.水曲柳落叶松根系之间的相互作用研究〔J〕.植物生态学报,2000,24(3):346－350.〔Wang Zhengquan, Zhang Yandong. Study on the root interactions between *Fraxinus mandshurica* and *Larix gmelinii*〔J〕. Acta Phytoecologica Sinica, 2000,24(3):346－350.〕

〔28〕张彦东,沈有信,白尚斌,等.混交条件下水曲柳落叶松根系的生长与分布〔J〕.林业科学,2001,37(5):16－23.〔Zhang Yandong,Shen Youxin,Bai Shangbin,et al. Effects of the mixed on root growth and distribution of *Fraxinus mandshurica* and *Larix gmelinii*〔J〕. Scientia Silvae Sinicae,2001,37(5):16－23.〕

〔29〕曾巧,马剑英.黑河流域不同生境植物水分来源及环境指示意义〔J〕.冰川冻土,2013,35(1):148－155.〔Zeng Qiao,Ma Jianying. Plant water sources of different habitats and its environmental indication in Heihe River Basin〔J〕. Journal of Glaciology and Geocryology,2013,35(1):148－155.〕

Water Sources of Five Typical Plant Species in Desert in the East Junggar Basin, Xinjiang

PENG Li-ping[1,2], DAI Yue[1,2], SHI Qing-dong[1,2,3]

(1. *College of Resources and Environmental Sciences, Xinjiang University, Urumqi* 830046, *Xinjiang, China*;
2. *Xinjiang Key Laboratory of Oasis Ecology, Xinjiang University, Urumqi* 830046, *Xinjiang, China*;
3. *Institute of Arid Ecology and Environment, Xinjiang University, Urumqi* 830046, *Xinjiang, China*)

Abstract: In desert environment, water is the principal factor affecting plant distribution, and theplants with different life forms have different water sources. As hydrogen stable isotopes are prone to fractionation in salt-tolerant and drought-tolerant plants, so, in this study, oxygen isotope ratios ($\delta^{18}O$) were measured for xylem water of five typical plant species, soil moisture in different soil layers and groundwater in the east Junggar Basin. The five typical plant species were *Haloxylon ammodendron*, *H. persicum*, *Convolvulus tragacanthoides*, *Reaumuria soongonica* and *Anabasis salsa* respectively. The IsoSource model was used to calculate the possible ranges of potential water sources used by the five typical plant species. The proportional similarity index (SPI) was used to analyze the water use relationship among different plant species. The result showed that the five typical plant species used mainly soil water but had different water uptake soil layers. H. *ammodendron* and H. *persicumused* mainly deep soil water (140－200 cm in depth), their soil water use proportions were 73%～87% and 43%－74% respectively, and the water uptake soil depthvaried in a range of 140－160 cm. *R. soongonica* used mainly soil water in depth of 0－80 cm, its soil water use proportion varied in a range of 49%－85%, and the water uptake soil depth was 60－80 cm. *A. salsa* and *C. tragacanthoides used* mainly soil water in depth of 0－60 cm, their soil water use proportions were 80%～91% and 24%－79%, and the water uptake soil depths were 20－40 cm and 40－60 cm, respectively. Therewere water use competition between *H. ammodendron* and *H. persicum* and between *A. salsa* and *C. tragacanthoides*. This study could help us to know more about the adaption of plant species in desert environment.

Key words: desert plant species; soil moisture content; proportional similarity index; stable isotope; water source; Xinjiang